Journal of Horticultural Science
https://jhs.um.ac.ir

Research Article
Vol. 37, No. 1, Spring 2023, p. 105-119

Evaluation of Yield and Quality of Peach Fruit (*Prunus persica* var Red Top) Cultivated under Split Roots System, Inoculated with Fungi and Irrigated with different Levels

M. Nazeri[1*], S.J. Tabatabaei[2], Y. Sharafi[3]

Received: 02-09-2021
Revised: 12-09-2022
Accepted: 13-09-2022
Available Online: 13-09-2022

How to cite this article:
Nazeri, M., Tabatabaei, S.J., & Sharafi, Y. (2023). Evaluation of yield and quality of peach fruit (*Prunus persica* var red top) cultivated under split roots system, inoculated with fungi and irrigated with different levels. *Journal of Horticultural Science 37*(1): 105-119. (In Persian with English abstract). http://doi.org/10.22067/jhs.2022.72296.1088

Introduction

Water scarcity is one of the most important limiting factors threatening the production of horticultural crops. Approximately, 45% of the world's arable land is subject to permanent or intermittent water shortages, and approximately 50% of the world's annual yield is lost due to drought. Due to climate changes, especially the increase temperature and decrease rainfall in recent years in Iran, most of the gardens are facing limited water resources. In order to reduce water stress, increasing water use efficiency by naval technics seems to be crucial. Peach fruit growth mainly depends on adequate water supply. Therefore, water stress reduces the growth of the fleshy part and the quality of the peach fruits. Split root means placing a part of the root in different conditions compared to the remains of the root. Studies on split root culture were done in the laboratory for the first time. Increasing water holding capacity by split root system may improve soil- plant water availability. Furthermore, many studies indicated that Mycorrhiza and Trichoderma fungi improve the absorption of water and nutrients by plant. Increasing the absorption of water and nutrients leads to increasing growth and yield. The aim of this research was to improve the water efficiency and the use of low-yielding lands by placing a bag containing pumice and inoculating the roots with fungi.

Materials and Methods

This experiment was performed as a factorial experiment based on randomized complete blocks design with three replications for two years. Treatments included placing the bag close to the trunk of peach trees in three levels (without bag, one bag and two bags), different levels of irrigation (50, 75 and 100% of field capacity) and root inoculation treatments with mycorrhiza, Trichoderma fungi and control without fungus. Redtop peaches grafted on GF677 rootstock were planted in May 2018. The bags were placed at a depth of 60 cm and at a distance of 40 and 60 cm from the tree trunk. The bags size was 40 liters filled with pumice. At 20 cm from the top of the bag, three holes were made to remove excess water from that part and as a signal to cause the root to move towards the bag. For plants treated with mycorrhiza, 250 g of *Mycorrhiza glomus* was mixed and for plants treated with Trichoderma, 4.5 g of *Trichoderma harizanium* was mixed with pumice in the bag. In treatments with no bag placement, the plant roots were inoculated with fungi. Characteristics such as relative water content (RWC), yield, total soluble solids (TSS), titratable acidity (TA), TSS/TA, total phenol and fruit anthocyanin were measured at the end of growing season. Fruit skin color characteristics including L*, a*, b*, Chroma and Hue were measured with a colorimeter. Statistical analysis was performed by SAS software version 9.1. Mean

1- Ph.D Student of Horticultural Science, Department of Horticultural Sciences, Campus of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Islamic Republic of Iran
(*- Corresponding Author Email: masoud.nazeri@ut.ac.ir)
2 and 3- Professor and Associate Professor, Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, Shahed University, Tehran, Islamic Republic of Iran, respectively.
DOI: 10.22067/jhs.2022.72296.1088

data were compared using Duncan's multiple range test. drawing diagrams done by Excel software.

Results and Discussion

The results showed that bag placement increased RWC. The highest RWC of leaf was measured in the treatment of placing two bags, 75% irrigation and root inoculation with Trichoderma fungus. In the main effect of bag placement, irrigation levels and root inoculation, the highest RWC of leaf was observed in placing a bag, 100% irrigation and root inoculation with Trichoderma fungus, respectively. The treatment one bag, 100% irrigation and root inoculation with mycorrhiza improved vegetative growth and produced the largest trunk diameter. Yield in terms of fresh weight of fruit in two-bag placement, 100% irrigation and root inoculation with mycorrhiza was increased by 1.8 compared to the control. The highest TA was measured in the treatment of placing a bag, 50% irrigation and root inoculation with mycorrhizal fungus. Treatment without bag placement, 75% irrigation and without fungus inoculation had the highest total soluble solids and TSS/TA of fruit. The index ratio of TSS/TA is used to determine the taste of the fruit. The highest total phenol and anthocyanin of fruit was observed in treatments without bag under 50% irrigation levels. One bag placement, 75% irrigation without fungal inoculation treatment and no bag placement treatment, 50% irrigation, mycorrhiza inoculation caused the a* and L* of the fruit skin increased. The interaction effect of the three factors of bag placement, irrigation levels and root inoculation with fungus had no significant effect on Hue and b*.

Conclusion

The results of this experiment showed that water consumption can be reduced by placing a bag. The finding of the experiment led to the conclusion that a bag placement treatment, 75% irrigation and inoculation with mycorrhizal fungus improve fruit yield and quality of peach trees

.

Keywords: Fertilizer, Irrigation, Mycorrhiza, *Trichoderma*, Pumice

نشریه علوم باغبانی
https://jhs.um.ac.ir

مقاله پژوهشی
جلد ۳۷، شماره ۱، بهار ۱٤۰۲، ص. ۱۱۹-۱۰۵

ارزیابی عملکرد و کیفیت میوه هلو (*Prunus persica* var *red top*) در کشت ریشه منقسم تلقیح شده با قارچ و سطوح مختلف آبیاری

مسعود ناظری[1*]- سید جلال طباطبایی[2]- یاور شرفی[3]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۶/۱۱
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۶/۲۱
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۶/۲۲

چکیده

آب از مهمترین عوامل محدود کننده تولید محصولات باغی می‌باشد. از عوامل موفقیت در تولید محصولات باغی کشورمان افزایش بهره وری آب می‌باشد. به منظور ارزیابی رشد و عملکرد هلو رقم 'Red Top' پیوند شده روی پایه GF677 با جایگذاری کیسه حاوی پومیس در شرایط رطوبتی مختلف، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار به مدت دو سال صورت گرفت. تیمارها شامل جایگذاری کیسه در کنار درخت در سه سطح (بدون کیسه، یک کیسه و دو کیسه)، سطوح مختلف آبیاری (۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی) و تیمار تلقیح ریشه با قارچ مایکوریزا (ترکیبی از سویه‌های *Glomus*)، تریکودرما سویه *harzianum* و شاهد (بدون قارچ) اعمال شد. بیشترین رطوبت نسبی آب برگ در تیمار جایگذاری دو کیسه، آبیاری ۷۵ درصد و تلقیح با قارچ تریکودرما اندازه‌گیری شد. همچنین تیمار جایگذاری یک کیسه، آبیاری ۱۰۰ درصد و تلقیح ریشه با قارچ مایکوریزا بیشترین قطر تنه را ایجاد کرد. نتایج نشان داد تیمار جایگذاری دو کیسه، آبیاری ۱۰۰ درصد و تلقیح با قارچ مایکوریزا عملکرد را نسبت به شاهد ۱/۸ برابر افزایش داد. تیمار بدون جایگذاری کیسه، آبیاری ۷۵ درصد و بدون تلقیح با قارچ بیشترین مواد جامد محلول و TSS/TA میوه را داشت. بیشترین فنول کل و آنتوسیانین میوه به ترتیب در تیمار بدون جایگذاری کیسه و آبیاری ۵۰ درصد و بدون تلقیح قارچ و تیمار جایگذاری دو کیسه و آبیاری ۷۵ درصد و بدون تلقیح قارچ اندازه گیری شد. تیمار جایگذاری یک کیسه و آبیاری ۷۵ درصد و بدون تلقیح قارچ و تیمار بدون جایگذاری کیسه و آبیاری ۵۰ درصد و تلقیح با قارچ ماکوریزا بیشترین قرمزی و درخشندگی پوست میوه را ایجاد کردند. با توجه به نتایج به دست آمده تیمار جایگذاری یک کیسه، آبیاری ۷۵ درصد و تلقیح با قارچ ماکوریزا از عملکرد و کیفیت میوه مناسبی برخوردار بود.

واژه‌های کلیدی: پومیس، تریکودرما، کم آبیاری، کود آبیاری، مایکوریزا

مقدمه

هلو با نام علمی (*Prunus persica*) یک گونه دیپلوئیدی است که از خانواده رزاسه و زیرخانواده پرونوئیده می‌باشد (Zhang *et al*., 2018). رشد میوه هلو به طور عمده به تأمین آب کافی با کیفیت مناسب بستگی دارد. آبیاری درختان جوان هلو در سال‌های اول احداث باغ از اهمیت زیادی برخوردار است (Brunner *et al*., 2015). تنش خشکی باعث کاهش رشد قسمت گوشتی و کاهش کیفیت میوه می‌شود (Habib *et al*., 1991; Eldem *et al*., 2012). تقریبا ۴۵ درصد از اراضی زراعی جهان تحت شرایط کمبود آب دائمی یا متناوب قرار دارند و تقریبا ۵۰ درصد از عملکرد سالانه جهانی در اثر خشکی از بین می‌رود (Abdelrahman *et al*., 2018). خشکی بیشترین تأثیر را بر مورفولوژی، فیزیولوژی و بیوشیمی درختان میوه و در نهایت عملکرد آنها داشته و سبب کاهش شاخص‌های رشدی،

۱- دانشجوی دکتری باغبانی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: masoud.nazeri@ut.ac.ir)
۲ و ۳- به‌ترتیب استاد و دانشیار گروه باغبانی دانشکده کشاورزی دانشگاه شاهد، تهران، ایران

DOI: 10.22067/jhs.2022.72296.1088

عملکرد و کیفیت محصول و در صورت تداوم تنش، موجب مرگ می‌شود. سازگاری با کمبود آب به فعل و انفعالات پیچیده‌ای بین مورفولوژی، فیزیولوژی و بیوشیمی احتیاج دارد که همه آنها به صورت مستقیم یا غیرمستقیم تحت کنترل ژنتیکی هستند. زمانی که علامت‌های تنش توسط گیرنده‌های سلول در شرایط تنش دریافت می‌شوند، آبشارهای علامت دهی توسط سلول فعال شده و منجر به بیان ژن‌های مرتبط با تنش خشکی می‌شود. مسیرهای علامت دهی به واسطه هورمون‌ها، به ویژه هورمون آبسیزیک اسید (ABA) می‌باشد. آبسیزیک اسید از طریق آوند چوبی به برگ‌ها منتقل شده و با بستن روزنه‌ها تبخیر آب را کاهش می‌دهد (Kafi *et al*., 2010 ; Tan *et al*., 2017).

قارچ‌های همزیست با تأمین کربوهیدرات خود از گیاه با افزایش سطح جذب ریشه، موجب افزایش جذب آب و مواد غذایی توسط گیاه می‌شود. تحقیقات نشان می‌دهند تریکودرما با تغییر مورفولوژی ریشه جذب آب و مواد غذایی را افزایش داده و موجب افزایش رشد رویشی و عملکرد می‌شود (Pascale *et al*., 2017; Gravel *et al*., 2007). تقریبا تمام گیاهان با قارچ‌های مایکوریزایی همزیست می‌باشند. قارچ مایکوریزا جذب مواد مغذی توسط گیاه را افزایش می‌دهد. نخینه‌های این قارچ از ریشه به سمت خاک رشد کرده و مواد غذایی که محدود کننده رشد گیاه می‌باشد را جذب می‌کند. قارچ مایکوریزا مقاومت به خشکی را ایجاد می‌کند (Wu *et al*., 2016; Augé, 2001).

سیستم‌های تقسیم ریشه برای مطالعه اثرات محیط‌های مختلف ریشه مورد استفاده قرار گرفته‌اند. این مطالعات برای اولین بار در کشت آزمایشگاهی انجام شده است. استفاده از آب‌های نامتعارف جهت صرفه جویی در مصرف آب و قرار دادن بخشی از ریشه در ECهای مختلف جهت بررسی رشد و عملکرد صورت گرفته است. در تحقیقاتی که بر روی گوجه فرنگی صورت گرفت نشان داده شد بیشترین عملکرد در گیاهی اندازه‌گیری شد که بخشی از ریشه در شوری dS/m ۶ قرار داده شد (Tabatabaei *et al*., 2004). نتایج تقسیم ریشه درخت توس در دو محیط با pHهای پنج و نه نشان داد که در تیمارهایی که بخشی از ریشه یا تمام ریشه در pH پایین قرار گرفتند، ماده خشک و فتوسنتز و تعرق بیشتری نسبت به گیاهانی که تمام ریشه در معرض pH بالا قرار گرفتند داشتند (Xu *et al*., 2019). در تکنیکی دیگر در سیستم ریشه منقسم، ریشه نارنج سه برگ به دو بخش تقسیم شده و یک بخش از ریشه با قارچ مایکوریزا تلقیح می‌شود که افزایش زیست توده گیاه را در پی داشته است (Wu *et al*., 2016). از این روش برای مطالعه میزان بیان ژن در اثر جذب عناصر نیز استفاده می‌شود. در آزمایش ریشه منقسم بر روی برنج نشان داده شد بیان OsLsi3 در نیمی از ریشه که در معرض سیلیس قرار گرفت نسبت به قسمتی که در معرض سیلیس قرار نگرفت، کاهش پیدا کرد (Huang *et al*., 2022). از روش ریشه منقسم برای بررسی چگونگی اثر نماتد مولد زخم (*Pratylenchus penetrans*) بر گره ریشه (تعداد و وزن خشک)، باکتری‌های موجود در گره ریشه و تثبیت نیتروژن در سویا استفاده شده است (Elhady *et al*., 2020). همچنین از این روش برای بررسی همزیست‌های حبوبات نیز استفاده می‌شود (Thilakarathna and Cope, 2021). روش ریشه منقسم برای مطالعه ایجاد پاسخ سیستمیک دفاعی ناشی از تریکودرما مورد استفاده قرار گرفته است. در گوجه فرنگی نشان داده شد زیست توده نتاج گیاهانی که نیمی از ریشه آنها با قارچ تریکودرما تلقیح شده بود و در محیطی با نماتد مولد گره ریشه قرار گرفت و نیمه دیگر در آب سترون بود نسبت به گیاه شاهد ۱۲۵ درصد افزایش پیدا کرد (Rubio *et al*., 2019). در هلو نیز تلقیح بخشی از ریشه با قارچ مایکوریزا یا تریکودرما موجب افزایش وزن تر و خشک برگ و رطوبت نسبی آب برگ و تعداد میوه شد (Nazeri *et al*., 2020a; Nazeri *et al*., 2020b).

پومیس معدنی یک آلمینوسیلیکات معدنی بی اثر است که منشأ آتش فشانی داشته و دارای چگالی پایین و تخلخل بالاست. پومیس بدون پاتوژن و عاری از تخم علف هرز بوده، دارای ظرفیت تبادلی یونی پایین و یک ساختار پایدار دارد (Gizas and Sarras, 2007). آب به سرعت در پومیس فرو می‌رود و به دلیل تخلخل بالای آن ظرفیت نگهداری آب و هدایت هیدرولیکی بالایی دارد (Raviv *et al*., 2002). در آزمایشی استفاده از کیسه حاوی پومیس در زیر منطقه ریشه درخت هلو کارائی جذب فسفر، سطح برگ و رشد رویشی را افزایش داد (Pashaei *et al*., 2018).

با توجه به مشکلات مربوط به کمبود آب در ایران ارائه راهکار مناسب و نوین که بتوان با آن عملکرد، کیفیت و سطح کشت محصولات باغی را افزایش داد، اهمیت دارد. بنابراین، هدف از انجام این پژوهش بهبود کارایی مصرف آب، و استفاده از زمین‌های کم باره با جایگذاری کیسه حاوی پومیس و تلقیح ریشه با قارچ بود.

مواد و روش‌ها

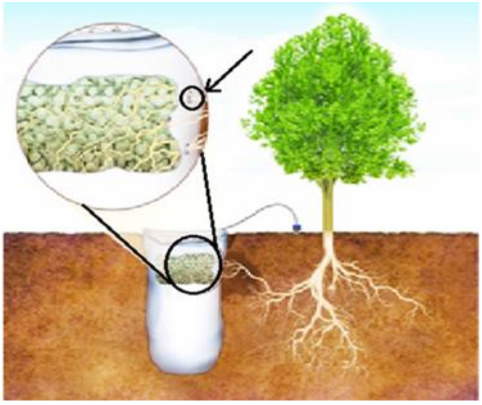
این آزمایش در باغ تحقیقاتی ریشه منقسم واقع در دانشگاه شاهد با مختصات ۳۷ درجه عرض شمالی و ۵۱ درجه طول شرقی در ارتفاع ۱۰۳۶ متر از سطح دریا از اردیبهشت ۹۶ به مدت دو سال اجرا شد. خصوصیات آب و هوایی منطقه مورد مطالعه طبق میانگین داده‌های ۵۵ ساله ایستگاه هواشناسی شامل میانگین دمای سالیانه ۱۷/۳ درجه سانتی‌گراد، میانگین بارندگی سالیانه ۲۳۲/۸ میلی‌متر و رطوبت نسبی هوا ۴۱ درصد می‌باشد. در اردیبهشت ۹۶ نهال‌های هلو دو ساله رقم ‘Red Top’ پیوند شده روی پایه ‘GF677’ در ردیف‌هایی به فاصله سه متر از هم کاشته شدند. فاصله درختان از یکدیگر دو متر انتخاب و در یک سمت درختان گودال‌هایی برای گذاشتن کیسه‌ها تعبیه شد.

گودال‌ها به عمق ۶۰ سانتی متر و به فاصله ۴۰ و ۶۰ سانتی متر از تنه درخت تعبیه شدند. کیسه‌های کامپوزیتی به حجم ۴۰ لیتر با پومیس پر و در گودال‌ها قرار داده شدند. در ۲۰ سانتی‌متر از بالای کیسه چند سوراخ ایجاد شد تا آب اضافی از آن قسمت خارج شده و به عنوان یک سیگنال سبب حرکت ریشه به طرف کیسه شود. همیشه در کیسه آب وجود داشت تا شرایطی مشابه شرایط هیدروپونیک برای درختان ایجاد شود و درختان در شرایط تنش آبی قرار نگیرند. شکل ۱ نمایش شماتیک از نحوه جایگذاری کیسه و نفوذ ریشه را بداخل کیسه نشان می‌دهد.

جدول ۱- مشخصات شیمیایی خاک مورد استفاده در آزمایش

Table 1- Chemical properties of soil used in the experiment

هدایت الکتریکی EC ($dS.m^{-1}$)	pH	کربن آلی Organic C (%)	آهک خاک TNV (%)	ظرفیت تبادل کاتیونی CEC ($meq.100g^{-1}$)
4	8	0.1	12	20



شکل ۱- نمای شماتیکی از جایگذاری کیسه در کنار درخت هلو

Figure 1- Schematic view of bag placement next to the peach tree

برای گیاه تحت تیمار مایکوریزا ۲۵۰ گرم قارچ با نام تجاری مایکوپرسیکا که مخلوطی از چند سویه خالص گلوموس مایکوریزا می‌باشد از شرکت دانش بنیان زیست فناوران توران تهیه و در تیمارهایی که در کنار درخت کیسه تعبیه شده بود با پومیس موجود در کیسه مخلوط و در تیمارهایی که در کنار درخت کیسه تعبیه نشده بود به گودال محل کاشت درخت اضافه گردید (Sohrabi *et al*., 2012). میانگین تعداد اسپور در هر گرم قارچ ۱۰۰-۸۰ عدد و تعداد اندام فعال که شامل ریسه و قطعات خورد شده ریشه گیاهان میزبان می‌باشد حدود ۵۰-۲۰ متر در هر گرم خاک بود. برای هر گیاه تحت تیمار قارچ تریکودرما، ۴/۵ گرم قارچ با پومیس تیمارهایی که کیسه در کنار درخت تعبیه شده بود مخلوط شد. در تیمارهایی که در کنار درخت کیسه تعبیه نشده بود به گودال محل کاشت درخت اضافه گردید. قارچ تریکودرما سویه هاریزانیوم از شرکت فناوران حیات سبز با نام تجاری تریکومیکس-اچ وی تهیه شد. جهت تامین آب درختان یک مخزن ۵۰۰۰ لیتری و یک پمپ زیر آبی که انرژی خود را از سولار (انرژی خورشیدی) می‌گرفت تعبیه شد. آب از طریق لوله‌های پلی اتیلن دو اینچی و لوله‌های فرعی ۱۶ میلی‌متری به قطره چکان‌ها رسانده و با لوله‌های ماکارونی آب و همه مواد غذایی مورد نیاز را به درون کیسه کنار درختان انتقال داده شد. مخزنی به حجم ۲۰۰ لیتر در کنار مخزن اصلی آب برای تامین مواد غذایی ماکرو و میکرو به صورت استوک تعبیه شد.

مقدار EC و pH تانکر اصلی به صورت خودکار و مرتب توسط دستگاه اندازه‌گیری و به ترتیب روی مقادیر ۱/۷ دسی‌زیمنس بر متر و هفت تنظیم شد. سیستم شناور الکترونیکی در کیسه تعبیه شد تا با پایین آمدن آن به وسیله امواج بی سیم، فرمان شروع به کار به پمپ داده شده و آبیاری آغاز گردد. پس از بالا آمدن شناور دستور خاموش شدن پمپ صادر می‌شد که در این زمان در کیسه حدود ۲۰ لیتر آب موجود بود. تیمارها شامل کیسه، قارچ و آبیاری هر کدام در سه سطح اعمال شد. در مجموع ۲۷ تیمار در سه تکرار در نظر گرفته شد. دو ردیف شرقی و غربی باغ به عنوان محافظ (Gard Row) در نظر گرفته شد. تیمارهای کیسه بصورت B_0، B_1، B_2 در نظر گرفته شدند که در آن B مخفف Bag بود و اندیس‌ها به ترتیب نشان دهنده بدون کیسه، یک کیسه و دو کیسه بود. تیمارهای آبیاری بصورت I_{50}، I_{75}، I_{100} بودند که در آن I مخفف Irrigation بوده و اندیس‌ها به ترتیب

نشان دهنده آبیاری ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی بود. در آبیاری ۵۰ درصد از یک قطره چکان با آبدهی هشت لیتر در ساعت، در ۷۵ درصد از دو قطره چکان با آبدهی هشت و چهار لیتر در ساعت و در ۱۰۰ درصد از دو قطره چکان با آبدهی هشت لیتر در ساعت استفاده شد. تیمارهای قارچ بصورت F_0، F_M، F_T در نظر گرفته شدند که F مخفف Fungi بوده و اندیس‌ها به ترتیب نشان دهنده بدون قارچ، قارچ *glomus Mycorrhiza* و قارچ *Trichoderma harzianum* بود. تیمار $B_0I_{100}F_0$ به عنوان تیمار شاهد در نظر گرفته شد. اعمال تیمارها از روز نخست کاشت درختان (اردیبهشت ۹۶) شروع شد. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار به مدت دو سال صورت گرفت.

رطوبت نسبی آب برگ

برای اندازه‌گیری رطوبت نسبی آب برگ یک گرم از برگ هر درخت در مرداد ماه ۹۸ توزین شد. سپس نمونه در پتری دیش در آب مقطر قرار داده شد. پس از ۲۴ ساعت وزن اشباع نمونه‌ها با ترازو دیجیتال اندازه‌گیری و به مدت ۴۸ ساعت در آون با دمای ۷۵ درجه قرار گرفت. در نهایت وزن خشک آنها را با ترازوی دیجیتال اندازه‌گیری شد. اعداد به دست آمده از اندازه‌گیری‌ها را در فرمول زیر گذاشته و محتوای آب نسبی برگ محاسبه شد (Levitt, 1980).

$$RWC = \frac{(Fw - Dw)}{(Sw - Dw)} \times 100 \qquad \text{فرمول (۱)}$$

Fw نشانگر وزن تر برگ بعد از نمونه‌برداری، Dw نشانگر وزن خشک برگ بعد از قرار گرفتن در آون و Sw نشانگر وزن اشباع برگ بعد از قرار گرفتن در آب مقطر بود.

هلو رقم Red top زودرس بوده و پس از نمایان شدن رنگ زمینه قرمز (شاخص برداشت میوه) و رسیدن میوه‌ها در هفته دوم خرداد سال ۹۸ میوه‌های هر درخت به طور جداگانه برداشت و وزن گردید.

قطر تنه

در آبان ۹۸ پس از پایان فصل رشد در فاصه ۱۰ سانتی‌متری از محل پیوند قطر تنه توسط کولیس دیجیتال (Digital caliper, 1114-200A) گرفته شد.

مواد جامد محلول، اسید قابل تیتراسیون و شاخص طعم

برای اندازه‌گیری مواد جامد محلول (TSS) از دستگاه رفرکتومتر دیجیتال (Hanna HI96801) استفاده شد. یک قطره از آب میوه هم دمای محیط بر روی صفحه شیشه‌ای دستگاه قرار داده و عدد قرائت شده توسط دستگاه بعنوان عدد بریکس ثبت گردید. برای اندازه‌گیری اسید قابل تیتراسیون ۱۰ سی‌سی از آب میوه را به حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر رسانده و با هیدروکسید سدیم ۰/۱ نرمال در حضور چند قطره معرف فنول فتالئین (۰/۵ درصد در اتانول ۸۰ درصد)، سنجش صورت گرفت. با مشاهده اولین رنگ صورتی پایدار میزان هیدروکسید سدیم مصرفی یادداشت گردید. از رابطه زیر اسید قابل تیتراسیون محاسبه شد (Mazumdar and Majumder, 2017).

$$A(\%) = \frac{N \times V \times E}{M} \times 100 \qquad \text{فرمول (۲)}$$

مقدار اسیدهای آلی موجود در عصاره، N نرمالیته هیدروکسید سدیم مصرفی (۰/۱ نرمال)، V حجم سود مصرفی، M مقدار آب میوه (میلی‌لیتر) و E وزن اکی والانت برای اسید غالب هلو که اسید مالیک است برابر ۰/۰۶۷ است. شاخص طعم میوه نیز از TSS/TA بدست آمد (Su *et al*., 2013).

ترکیبات فنولی

مقدار ترکیبات فنولی با معرف فولین سیوکالتو اندازه گیری شد و نتایج بر حسب میلیگرم اسید گالیک در گرم عصاره بیان شد (Slinkard and Singleton, 1977). ۸ میلی‌لیتر آب مقطر، ۲۰۰ میکرولیتر از عصاره نمونه، ۱ میلی‌لیتر کربنات سدیم و ۱ میلی‌لیتر محلول معرف فولین آماده به لوله آزمایش منتقل شد. نمونه‌ها به مدت ۱۵ دقیقه در دمای آزمایشگاه باقی ماندند و جذب آن در ۷۶۰ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر مدل (SHIMADZU UV-1205) خوانده شد. نمونه کنترل بدون عصاره با استفاده از گالیک اسید به دست آمد. نمودار استاندارد اسیدگالیک رسم و معادله خط $y = ax + b$ رسم گردید.

آنتوسیانین

برای اندازه‌گیری مقدار کل آنتوسیانین از روش افتراقی pH استفاده شد (Ambigaipalan *et al*., 2016). برای این منظور ۱ میلی‌لیتر از عصاره میوه با ۲ میلی‌لیتر کلرید پتاسیم ۰/۰۲۵ مولار (pH=1) و ۱ میلی‌لیتر از عصاره با ۲ میلی‌لیتر استات سدیم ۰/۴ مولار (pH =۴/۵) مخلوط گردید. محلول آماده شده ۱۵ دقیقه در دمای آزمایشگاهی باقی ماند. سپس نمونه‌ها در دستگاه سانتریفیوژ مدل BCEN-4000A ساخت شرکت اندیشه سازان سلامت پارسیان با ۴۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۵ دقیقه قرار گرفت نمونه‌های آماده شده هر کدام جداگانه توسط دستگاه اسپکتروفتومتر با طول موج‌های ۵۱۰ و ۷۰۰ نانومتر اندازه‌گیری شد و مقدار جهت اندازه‌گیری آنتوسیانین کل بر اساس سیانیدین ۳-گلوکوزید به عنوان آنتوسیانین غالب هلو استفاده شد.

$$\text{Absorbance } (A) = (A\ 510\ pH\ 1 - A\ 700\ pH1) - (A\ 510\ pH\ 4.5 - A\ 700\ pH4.5) \qquad \text{فرمول (۳)}$$

فرمول (۴)
$$Total\ anthocyanin\ (mg\ Kg\ FW^{-1}) = (A/26900a)\ (10^{3})\ (449.2b)$$

a ضریب مولی خاموشی سیانیدین ۳- گلوکوزید، b وزن مولکولی سیانیدین ۳- گلوکوزید می باشد.

رنگ ظاهری میوه

برای اندازه‌گیری رنگ ظاهری میوه از دستگاه رنگ سنج (Lovibond Lc 100 UK) ساخت انگلستان استفاده شد. این دستگاه توانایی اندازه‌گیری *L، *a، *b، C، H و کدورت آب میوه را دارد. ابتدا گرد و خاک موجود روی میوه گرفته و لنز دستگاه رنگ‌سنج روی قسمت استوایی میوه قرار داده و توسط دستگاه عکس گرفته شد.

تجزیه و تحلیل آماری

آنالیز داده‌های بدست آمده توسط نرم‌افزار SAS نسخه ۹٫۱ صورت گرفت. مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه-ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

جدول ۲- تجزیه واریانس جایگذاری کیسه، تلقیح با قارچ و سطوح آبیاری بر خصوصیات فیزیولوژیکی، کمی و کیفی هلو رقم 'Red Top' در کشت ریشه منقسم

Table 2– ANOVA for the effect of bag placement, fungi inoculation and irrigation levels on physiological, quantitative and qualitative characteristics of peach cv. 'Red Top' in split root culture

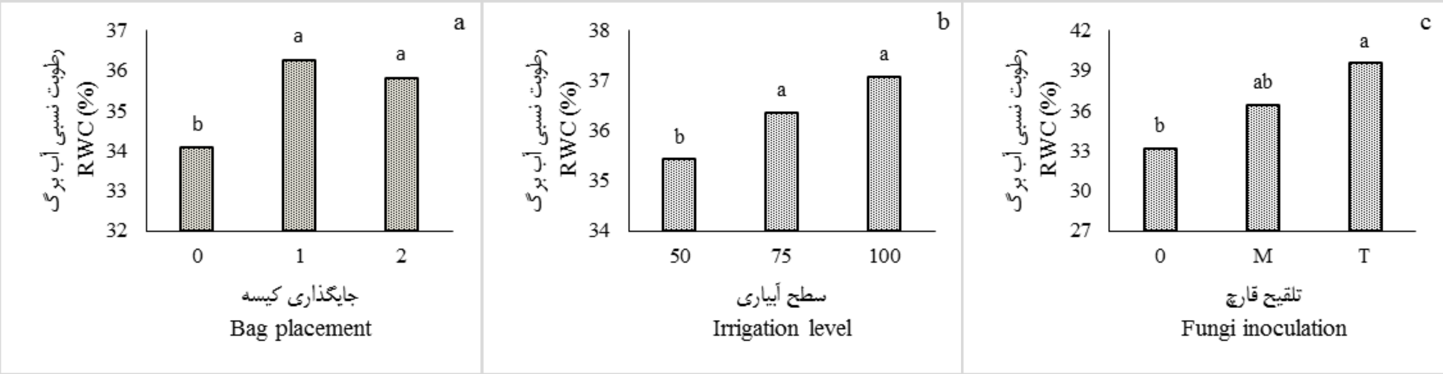
منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of squares							
		رطوبت نسبی آب برگ Relative water content	قطر تنه Trunk diameter	عملکرد Yield	مواد جامد محلول TSS	اسیدیته قابل تیتراسیون TA	TSS/TA	فنول کل Total Phenol	آنتوسیانین Anthocyanins
کیسه Bag (B)	2	36.44**	383.69**	1362**	41.5**	0.000032**	4899013**	1.568**	0.0002**
قارچ Fungi (F)	2	289**	52.58**	14210**	10.98**	0.0000063**	674671**	4.858**	0.0001**
آبیاری Irrigation (I)	2	22**	2274**	673537**	46.54**	0.000013**	865292**	2.29**	0.002**
B×F	4	66.44**	130.25**	15703**	42.62**	0.0000032**	1058369**	7.729**	0.000005**
B×I	4	423**	106.76**	43963**	88.45**	0.000018**	4012632**	6.416**	0.0001**
I×F	4	307**	92.96**	27895**	57.28**	0.0000098**	2369769**	3.933**	0.00005**
B×I×F	8	361**	13.18*	10697**	48.97**	0.000008*	2198623**	4.562**	0.00005**
خطا Error	52	4.05	7.35	655	1.03	0.00000034	2376	0.00000002	0.000005
ضریب تغییرات CV (%)	-	5.68	6.54	11.51	7.63	6.59	11.01	0.51	12.64

ns، ** و * به ترتیب عدم معنی داری، معنی داری در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد.

ns, ** and *: non-significant, significant at $p \le 0.01$ and $p \le 0.05$, respectively

نتایج و بحث

طبق نتایج به دست آمده از نمودار مقایسه میانگین (جدول ۴) بیشترین رطوبت نسبی آب برگ در تیمار $B_2I_{100}F_T$ اندازه‌گیری شد. نمودار مقایسه میانگین (شکل ۲-a) جایگذاری کیسه بر رطوبت نسبی آب برگ نشان داد که تیمار جایگذاری یک و دو کیسه به دلیل اینکه همیشه آب در اختیار گیاه می‌باشد، نسبت به بدون جایگذاری کیسه رطوبت نسبی آب برگ را افزایش می‌دهد و این نشان می‌دهد که درخت در اثر جایگذاری کیسه دچار تنش کمتری شد. در سطوح مختلف آبیاری (شکل ۲-b) تیمارهای آبیاری ۷۵ و ۱۰۰ درصد بیشترین رطوبت نسبی آب برگ را ایجاد کردند. کاهش پتانسیل آب برگ در شرایط تنش کم آبی به دلیل افزایش تبخیر و کاهش جذب آب در گیاه است. نمودار مقایسه میانگین تلقیح ریشه با قارچ (شکل ۲-c) نشان داد قارچ تریکودرما بیشترین رطوبت نسبی آب برگ را ایجاد کرد و با قارچ مایکوریزا در یک سطح از معنی‌داری قرار گرفت. قارچ تریکودرما باعث افزایش رشد سیستم ریشه‌ای می‌شود و محتوای نسبی آب برگ در شرایط کم آبی می‌تواند با رفتار روزنه‌ها و سیستم ریشه‌ای گیاه در ارتباط باشد. حفظ محتوای رطوبت درونی یک گیاه نیاز به داشتن ریشه عمیق جهت جذب آب دارد (Hirayama *et al.*, 2006).



شکل ۲- اثرات جایگذاری کیسه (a)، سطوح مختلف آبیاری (b) و تلقیح ریشه با قارچ (c) بر رطوبت نسبی آب برگ هلو رقم 'Red Top'

Figure 2- The effects of bag placement (a), different levels of irrigation (b) and root inoculation with fungus (c) on the leaf relative water content (RWC) of peach cv. 'Red Top' (DMRT, *p≤0.05*)

طبق نتایج به دست آمده از جدول تجزیه واریانس (جدول ۴) اثر متقابل سه عامل بر قطر تنه تأثیر معنی‌دار داشته است. بیشترین و کمترین قطر تنه به ترتیب در تیمارهای $B_1I_{100}F_M$ و $B_2I_{50}F_M$ با میانگین ۵۷/۱۹ و ۲۶/۳۴ اندازه‌گیری شد. تیمار $B_1I_{100}F_M$ که بیشترین قطر تنه را ایجاد کرد نسبت به تیمار شاهد قطر تنه را ۲۱ درصد افزایش داد. گزارشات نشان دهنده این مطلب هستند که قطر تنه یکی از حساس‌ترین پارامترها به تنش آبی هست (Conejero *et al.*, 2007). تنش خشکی در هر زمان از فصل رشد می‌تواند بر رشد قطر تنه تأثیر منفی داشته باشد (Mills *et al.*, 1996). نتایج یک تحقیق پنج ساله بر درختان زیتون رقم کالامون سه، نشان داد که قطر تنه در درختان بدون آبیاری در مقایسه با شاهد بطور معنی‌داری کاهش پیدا کرد (Michelakis, 1995). در تحقیقاتی که درباره میزان رشد گیاه شیرین بیان در محیط کشت هیدروپونیک در مقایسه با خاکی صورت گرفت، نتایج نشان داد که در تیمارهای کودی یکسان میزان رشد قطر تنه در کشت هیدروپونیک بیشتر از محیط کشت خاکی می‌باشد (Estaji *et al.*, 2017). در تیمار جایگذاری کیسه نیز که یک روش نیمه هیدروپونیک می‌باشد افزایش شاخص رشد قطر تنه را شاهد بودیم. مایکوریزا باعث افزایش رشد در گیاه انار حاصل از کشت بافت می‌شود (Bompadre *et al.*, 2015).

بیشترین عملکرد به ترتیب در تیمارهای $B_2I_{100}F_M$ و $B_2I_{100}F_T$ اندازه‌گیری شد (جدول ۴). همانطور که جدول مقایسه میانگین (جدول ۴) عملکرد نشان می‌دهد جایگذاری کیسه موجب افزایش عملکرد نسبت به تیمارهای یکسان در آبیاری (۱۰۰ و ۷۵ درصد) و تلقیح قارچ شد و کیسه نتوانست جایگزین آبیاری ۵۰ درصد شود. در اثر خشکی روزنه‌ها بسته شده و با بسته شدن روزنه‌ها فتوسنتز کاهش پیدا کرده و دوره رشد نیز کاهش می‌یابد. با کاهش رشد در هلو جوانه‌های زایشی نیز کاهش می‌یابد. با رسیدن ریشه به کیسه در تیمار جایگذاری کیسه سطح تنش خشکی کاهش پیدا می‌کند. تحقیقات زیادی نشان داده است که با افزایش سطح تنش خشکی عملکرد نیز کاهش پیدا می‌کند. در سیب رقم رونتای پیوند شده روی پایه سیب وحشی سیورسی با افزایش دور آبیاری و کاهش ظرفیت زراعی از ۸۵ به ۵۵ درصد، عملکرد به میزان ۵۳ درصد کاهش پیدا کرد (Zhou *et al.*, 2019). تلقیح نهال‌های چهار ساله انگور توسط تریکودرما نه تنها موجب مقاومت گیاه نسبت به سفیدک پودری شد بلکه عملکرد را نسبت به شاهد ۴۸ درصد بهبود بخشید (Pascale *et al.*, 2017). در سیب رقم رد دلیشز عملکرد در تیمار آبیاری کامل و هر دو قسمت ریشه نسبت به آبیاری ۷۵٪ و نیمی از ریشه در یک سطح قرار گرفتند (Ghafari *et al.*, 2020).

طبق نتایج جدول مقایسه میانگین (جدول ۴) بیشترین مواد جامد محلول و کمترین اسیدیته قابل تیتراسیون در تیمار $B_0I_{75}F_0$ اندازه‌گیری شد. کمترین مقدار مواد جامد محلول در تیمار $B_1I_{100}F_M$ اندازه‌گیری شد که با تیمارهای $B_1I_{100}F_0$ و $B_1I_{75}F_0$ در یک سطح از معنی داری قرار گرفت (جدول ۴). تنش خشکی موجب کاهش آب میوه و افزایش مواد جامد محلول می‌شود. در تحقیقات صورت گرفته تنش رطوبتی در دوره سوم رشد میوه هلو موجب کوچک و کم آب شدن میوه گردیده و میزان مواد جامد محلول و اسید قابل تیتراسیون افزایش پیدا کرد (Karami *et al.*, 2002). قارچ‌های مایکوریزا و تریکودرما با تغییر مورفولوژی ریشه جذب آب و عناصر غذایی را توسط گیاه افزایش می‌دهند (Gravel *et al.*, 2007; Augé, 2001). با افزایش جذب مواد غذایی مواد جامد محلول افزایش و با افزایش جذب آب کاهش پیدا می‌کند. در تیمار $B_1I_{75}F_0$ میزان مواد جامد محلول نسبت به تیمار $B_0I_{75}F_0$ به طور معنی‌داری کاهش پیدا کرد. این کاهش می تواند به دلیل جایگذاری کیسه در کنار درخت باشد که همیشه آب در دسترس گیاه قرار می‌گیرد. در تیمار $B_0I_{100}F_M$ مواد جامد محلول نسبت به تیمار $B_0I_{100}F_0$ به طور معنی‌داری افزایش پیدا کرد. این افزایش میتواند به دلیل افزایش جذب عناصر غذایی به

کمک قارچ مایکوریزا باشد. اسیدیته قابل تیتراسیون بیشتر تحت تأثیر افزایش جذب مواد غذایی قرار می‌گیرد و اسید قابل تیتراسیون در تیمارهای تلقیح ریشه با قارچ افزایش پیدا کردند. افزایش اسیدیته آب میوه در اثر افزایش جذب نیتروژن، فسفر و پتاسیم در هلو نیز گزارش شده است (Chatzitheodorou *et al*., 2004). اسید قابل تیتراسیون در تیمارهای که در آنها آبیاری ۷۵ و ۱۰۰ درصد بود و در کنار درخت یک کیسه جایگذاری شده بود نسبت به تیمارهایی که کیسه جایگذاری نشده افزایش پیدا کرد که این افزایش می‌توانـد بـه دلیـل افزایش جذب مواد غذایی از طریق کیسه باشد. کاهش درصد آب میوه و افزایش اسید قابل تیتراسیون، عکس العملی است که گیـاه در برابـر کمبود آب از خود نشان می‌دهد. افزایش اسـدیته قابـل تیتراسـیون و مواد جامد محلول در هلـو رقـم (O'Henry) در اثـر قطـع آبیـاری در مرحله سوم رشد میوه نشان داده شده اسـت (Lopez *et al*., 2010). بیشترین نسبت مواد جامد محلول به اسیدیته قابل تیتراسیون در تیمار $B_0I_{75}F_0$ محاسبه شـد. نسـبت مـواد جامـد محلـول بـه اسـید قابـل تیتراسیون (TSS/TA)، شاخص مهمی است که به طـور رایـج بـرای تعیین مزه و تعریف ویژگی‌های طعمی که به رسیدگی و بلـوغ میـوه بستگی دارند، استفاده می‌شود. اسـید قابـل تیتراسـیون و مـواد جامـد محلول از فاکتورهای هستند که در اثر تـنش خشـکی افـزایش پیـدا می‌یابندجایگذاری یک کیسه به دلیل کـاهش سـطح تـنش خشـکی میزان مواد جامد محلول را کاهش می‌دهد و از طرفی با افزایش جذب مواد غذایی در اثر جایگذاری کیسه، اسید قابل تیتراسیون افزایش پیدا می‌کند. کاهش مواد جامد محلول و افـزایش اسـید قابـل تیتراسـیون سبب کاهش شاخص طعم در تیمـار جایگـذاری یـک و دو کیسـه در میوه شد.

اثر متقابل سه عامل بر فنول کل میوه در سطح احتمال ۱ درصـد معنی‌دار شد. ترکیبات فنولی تنوع شیمیایی زیادی دارنـد و بسـیاری از آنها برای دفاع از گیـاه در برابـر تـنش‌هـای زیسـتی و غیـر زیسـتی می‌باشد. فنول از طریق تحریـک آنـزیم فنیـل آلانـین آمونیالیـاز و از مسیر فنیل پروپانوئید تشکیل شده و وظیفه حفاظت از گیاه در مقابـل تـنش‌هـای محیطـی را دارد (Katerova and Prinsen, 2008). بیشترین میزان فنول کل در تیمار $B_0I_{50}F_0$ مشاهده شـد (جـدول ۴). در تیمارهایی که از آبیاری مناسب برخوردار بودنـد و در کنـار درخـت کیسه جایگذاری شده بود نسبت به تیمارهای بدون جایگذاری کیسـه از سطح فنول کمتری برخوردار بودند که نشان دهنده کـاهش سـطح تنش در اثر جایگذاری کیسه می‌باشد.

نتایج جدول مقایسه میانگین (جدول ۴) نشان دهنده ایـن مطلـب است که بیشترین آنتوسـیانین موجـود در تیمـار $B_2I_{75}F_0$ و کمتـرین آنتوسیانین در تیمار $B_0I_{75}F_T$ مشاهده شد. آنتوسیانین‌هـا از ترکیبـات فنـولی و گلوکوزیـدی بـوده کـه بـه تـنش خشـکی مقـاوم هسـتند. آنتوسـیانین محلـول در آب بـوده و محـل تجمـع آن واکوئـل سـلول می‌باشد. در شرایط تنش خشـکی مسـیر تولیـد فلاونوئیـدها فعالیـت بیشتری داشته و آنتوسیانین‌ها که ماننـد فلاونوئیـدها از رنگیـزه‌هـای محافظت کننده در برابر تنش های محیطی هستند نیز افـزایش پیـدا می‌کنند. این افزایش بـه دلیـل نقـش حفـاظتی آنتوسـیانین در برابـر رادیکال‌های آزاد اکسیژن که در اثر تنش خشکی بـه وجـود آمـده‌انـد می‌باشد (Zhang *et al*., 2010).

جدول ۳- تجزیه واریانس جایگذاری کیسه، تلقیح با قارچ و سطوح آبیاری بر رنگ پوست میوه هلو رقم 'Red Top' در کشت ریشه منقسم

Table 3- ANOVA for the bag placement, fungal inoculation and irrigation levels on peach cv. 'Red Top' skin color in split root culture

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of squares				
		L*	a*	b*	Chroma	Hue
کیسه Bag (B)	2	177.58**	161.43**	405.34**	502.02**	173.82**
قارچ Fungi (F)	2	44.63*	32.23*	145.38*	125.62*	90.75*
آبیاری Irrigation (I)	2	191.02**	49.48**	285.51**	52.51ns	570.03**
(B×F)	4	31.09*	12.38ns	95.9*	70.53*	72.32*
(B×I)	4	4.06*	5.74ns	75.77*	45.43ns	72.96*
(I×F)	4	103.86**	7.21ns	186.47**	125.71**	155.65**
(B×I×F)	8	24.52*	53.21**	49.18ns	80.61*	21.82ns
خطا Error	52	12.54	9.16	31.59	31.84	33.02
ضریب تغییرات CV (%)	-	9.1	11.18	24.09	15.63	11.83

ns، ** و * به ترتیب عدم معنی‌داری، معنی‌داری در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد.

ns, ** and *: non-significant, significant at $p\leq0.01$ and $p\leq0.05$, respectively

افزایش میزان آنتوسیانین سیب در اثر آبیاری بخشی از ریشه که مشابه روش ریشه منقسم می‌باشد نشان داده شده است. در سیب ارقام رد دلیشز و برابورن میزان آنتوسیانین کل در آبیاری ۷۵ درصد بخشی از ریشه نسبت به آبیاری کامل ریشه افزایش معنی‌دار پیدا کرد (Ghafari *et al*., 2020). کاهش آنتوسیانین در تیمارهایی که از نظر جایگذاری کیسه و سطح آبیاری یکسان بودند و توسط قارچ تلقیح شده بودند نسبت به بدون تلقیح قارچ نشان دهنده افزایش جذب آب توسط قارچ مایکوریزا و تریکودرما بوده است.

طبق نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۳) اثر متقابل سه گانه بر L^* و C در سطح ۵ درصد و a^* در سطح ۱ درصد تاثیر معنی‌داری داشته است. اثر اصلی جایگذاری کیسه و آبیاری بر b^* و h در سطح ۱ درصد معنی‌دار شد. جدول مقایسه میانگین (جدول ۴) نشان داد تیمار $B_0I_{50}F_M$ بر شاخص *L (درخشندگی) بیشترین نمود را داشته است. عدد شاخص درخشندگی از صفر (سیاه) تا ۱۰۰ (سفید) است که در این تیمار ۵۴/۸ اندازه‌گیری شد. کمترین شاخص درخشندگی پوست نیز در تیمار $B_2I_{75}F_M$ با میانگین ۳۲/۴۳ اندازه‌گیری شد. *a از رنگ سبز (۶۰-) تا قرمز (۶۰+) را شامل می‌شود که هرچه این عدد به قرمز نزدیک‌تر باشد نشان دهنده رسیدگی بیشتر میوه می‌باشد. تیمار $B_1I_{75}F_0$ با میانگین ۳۳/۱۵ بیشترین *a را داشته است (جدول ۴). کمترین میزان این شاخص با میانگین ۱۶/۸ در تیمار $B_2I_{50}F_0$ اندازه‌گیری شد. *b از آبی (۶۰-) تا زرد (۶۰+) را شامل می‌شود. اثر متقابل تیمارها بر این شاخص تاثیر معنی‌داری نداشت. در اثر متقابل جایگذاری کیسه در تلقیح با قارچ، تیمار جایگذاری دو کیسه و تلقیح با قارچ تریکودرما با میانگین ۱۵/۰۶ کمترین *b را ایجاد کرد (شکل ۳-a). در اثر متقابل سطوح آبیاری در تلقیح با قارچ بیشترین و کمترین *b به ترتیب در تیمار آبیاری ۵۰ درصد و تلقیح با قارچ مایکوریزا با میانگین ۴۷/۵۵ و آبیاری کامل و تلقیح با قارچ تریکودرما با میانگین ۱۹/۴ ایجاد شد (شکل ۳-b). در اثر متقابل جایگذاری کیسه در سطوح مختلف آبیاری تیمار بدون جایگذاری کیسه و آبیاری ۵۰ درصد با میانگین ۳۰/۰۳ بیشترین و تیمار جایگذاری دو کیسه و آبیاری ۵۰ درصد با میانگین ۱۳/۱ کمترین میزان *b را داشتند (شکل ۳-c).

تیمار $B_0I_{50}F_M$ با میانگین ۵۳/۹ بیشترین تاثیر را بر روی کروما داشته است (جدول ۴). کمترین میزان شدت رنگ نیز در تیمار $B_2I_{50}F_0$ با میانگین ۲۱/۳ توسط دستگاه اندازه‌گیری شد. شاخص هیو یا زاویه رنگ که از صفر تا ۱۸۰ می‌باشد. اثر متقابل تیمارها بر زاویه رنگ تأثیر معنی‌دار نداشت. در این شاخص هرچه زاویه رنگ به سمت صفر میل کند قرمزی رنگ بیشتر می‌شود. زاویه رنگ تحت تأثیر جایگذاری کیسه و افزایش سطح آبیاری کاهش نشان داد. اثر متقابل جایگذاری کیسه در سطوح مختلف آبیاری (شکل ۳-f) و سطوح مختلف آبیاری در تلقیح با قارچ (شکل ۳-e) با جایگذاری کیسه و افزایش سطح آبیاری میزان زاویه رنگ کاهش نشان داد.

آنتوسانین‌ها از رنگدانه‌های محلول در آب بوده رنگ‌های قرمز، آبی و بنفش را در گیاهان ایجاد می‌کنند. آنتوسانین‌ها در pH اسیدی رنگ قرمز و در pH قلیایی به رنگ بنفش و آبی در می‌آیند. گزارش شده است که با رسیدگی هلو سنتز آنتوسیانین افزایش پیدا می‌کند (Khoo *et al*., 2017). در تحقیقاتی که بر روی هلو صورت گرفت میزان *L، H و C پوست میوه در آبیاری کامل نسبت به کم آبیاری تنظیم شده کاهش نشان دادند (Alcobendas *et al*., 2012). در تحقیقی مشابه نیز در اثر کاهش آبیاری میزان L^* افزایش داشته که با این پژوهش یکسان می‌باشد (Rababah *et al*., 2005). در پژوهشی که درباره اشعه ماوراء بنفش بر روی آنتوسیانین و رنگ قرمز پوست هلو انجام شد با افزایش میزان آنتوسیانین میزان L^* کاهش داشته است که نشان دهنده همبستگی منفی بین این دو پارامتر می‌باشد که در این پژوهش نیز همبستگی (۰/۲۲۴*-) به دست آمد (جدول ۵). با افزایش آنتوسیانین شاخص a^* افزایش نشان می‌دهد که نشان از همبستگی مثبت بین این دو پارامتر است (Kataoka and Beppu, 2004). در این پژوهش نیز بین آنتوسیانین و شاخص a^* همبستگی مثبت و معنی دار ۰/۲۷۶ به وجود آمد (جدول ۵). کاهش آبیاری به منظور کاهش مصرف آب بدون تاثیر بر کیفیت میوه مورد بررسی قرار گرفته است. کاهش آبیاری در مرحله دوم رشد هلو باعث بهبود رنگ میوه هلو می‌شود (Gelly *et al*., 2004). در پژوهشی که روی توت فرنگی صورت گرفت تنش خشکی سبب کاهش*a شد که با نتایج این پژوهش مطابقت دارد (Mahdavi, 2017).

نتیجه‌گیری

رطوبت نسبی آب برگ از شاخص‌های مهم جهت نشان دادن وجود تنش خشکی می‌باشد. نتایج آزمایش نشان داد با کاهش سطح آبیاری رطوبت نسبی آب برگ کاهش می‌یابد. جایگذاری کیسه و تلقیح قارچ تریکودرما رطوبت نسبی آب برگ را افزایش می‌دهد. همچنین جایگذاری کیسه و آبیاری ۷۵ درصد شاخص‌های کیفی آنتوسیانین و فنول کل را که تحت تأثیر تنش خشکی افزایش پیدا می کنند را کاهش داد. بیشترین عملکرد در تیمار جایگذاری دو کیسه و آبیاری ۱۰۰ درصد ایجاد شد اما از آنجایی که از اهداف این آزمایش کاهش مصرف آب می‌باشد و جایگذاری دو کیسه هزینه‌های تولید را افزایش می‌دهد، تیمار جایگذاری یک کیسه، آبیاری ۷۵ درصد و تلقیح ریشه با قارچ تریکودرما نه تنها عملکرد را نسبت به تیمار شاهد (بدون جایگذاری کیسه، آبیاری ۱۰۰ درصد و بدون تلقیح قارچ) افزایش می‌دهد بلکه بیشترین مواد جامد محلول و *a را ایجاد می‌کند.

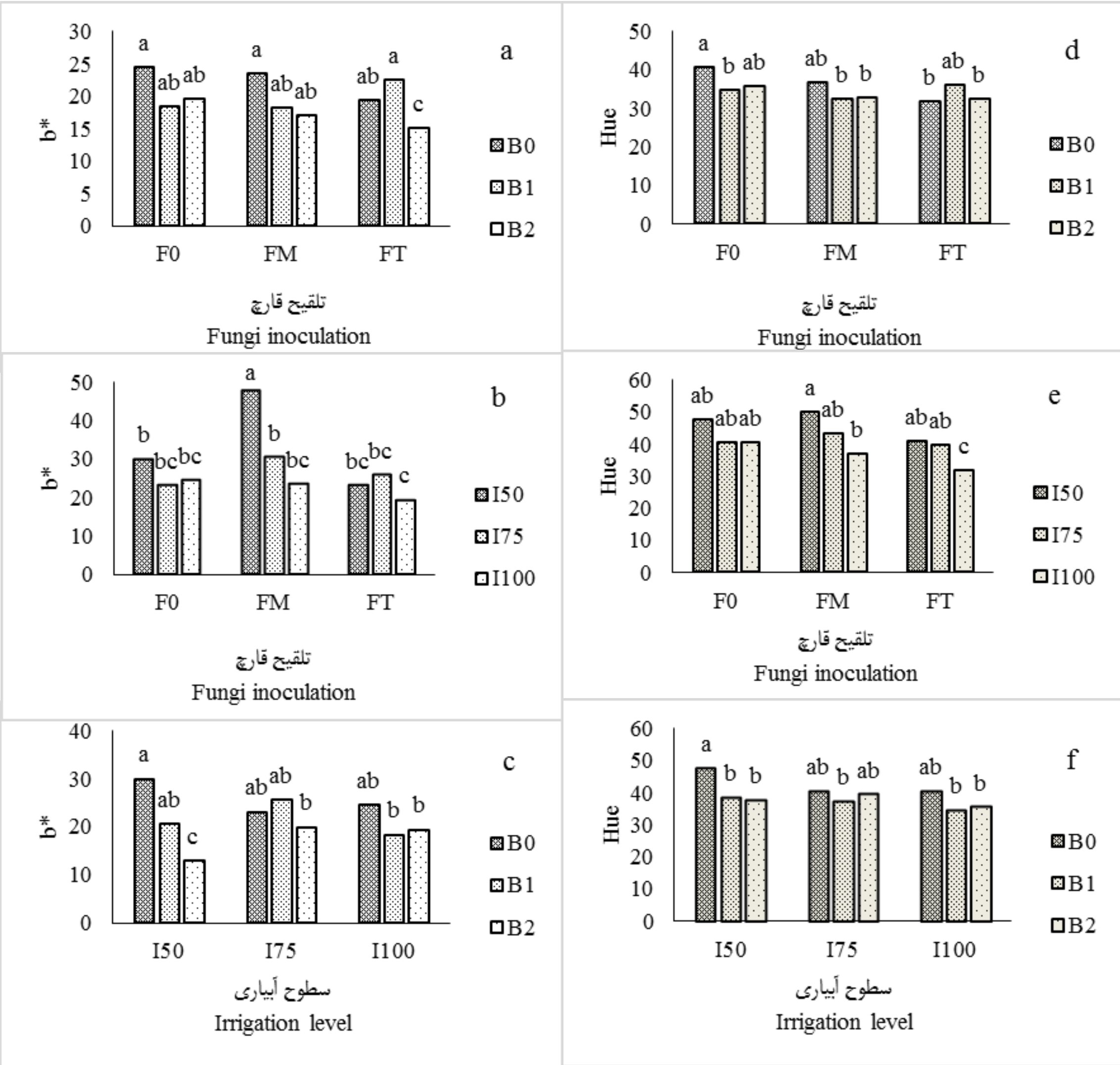
جدول ٤- اثر سه‌گانه جایگذاری کیسه× سطوح مختلف آبیاری × تلقیح ریشه با قارچ بر برخی خصوصیات درخت و میوه هلو رقم 'Red Top'

Table 4- The triple effect of bag placement× different levels of irrigation ×root inoculation with fungi on some traits of tree and fruit of peach cv. 'Red Top'

تیمار Treatment	محتوای نسبی آب برگ Relative water contet (%)	قطر تنه Trunk diameter (mm)	عملکرد Yield (kg)	مواد جامد محلول TSS (Brix)	اسیدیته قابل تیتراسیون TA (%)	TSS/TA	فنول کل Total Phenol (mg.l-1)	آنتوسیانین Anthocyanins (mg.g-1)	L*	a*	C
$B_0I_{100}F_0$	46.84 bc	44.93 c-e	4.19 j-l	10.53 k-m	0.077 i-k	1366 g-j	2.48 c-e	0.013 g-l	40.2 c-f	28.5 a-e	37.63 b-e
$B_0I_{100}F_M$	36.34 f-i	46.88 c-e	8.8 c	19.06 b	0.058 lm	3313 b	2.43 i-l	0.012 h-l	37 d-g	30.53 a-c	38.66 b-d
$B_0I_{100}F_T$	39.73 d-g	41.24 d-g	6.19 i	13.5 g-i	0.067 kl	2014 de	2.46 e-g	0.011 i-l	36.8 d-g	31.15 a-c	36.65 b-e
$B_0I_{50}F_0$	49.68 b	29.47 ij	2.42 m-o	14 f-h	0.087 f-i	1616 f-h	2.57 a	0.027 b-e	43.56 b-d	27.3 a-f	40.6 bc
$B_0I_{50}F_M$	29.36 j-m	32.65 h-j	1.85 n-p	13.5 g-i	0.097 d-f	1403 g-j	2.53 b	0.026 b-f	54.8 a	25.25 c-f	53.9 a
$B_0I_{50}F_T$	35.68 f-i	26.75 j	2.51 m-o	11.36 j-m	0.118 ab	962 kl	2.44 g-j	0.023 c-i	40.5 c-f	27.06 b-f	35.76 b-e
$B_0I_{75}F_0$	26.49 lm	41.35 d-g	3.39 k-m	24.46 a	0.051 m	4781 a	2.46 e-g	0.022 c-j	39.46 c-f	23.6 ef	34 b-e
$B_0I_{75}F_M$	28.27 k-m	40.47 e-g	4.54 jk	11.05 j-m	0.067 kl	1665 fg	2.47 d-f	0.015 e-l	44.65 bc	31.9 ab	44.25 b
$B_0I_{75}F_T$	34.74 g-j	46.65 c-e	3.8 k-m	15.33 d-g	0.073 jk	2080 de	2.49 bc	0.004 l	39.75 c-f	31.15 a-c	40.4 bc
$B_1I_{100}F_0$	24.72 mn	57.16 a	12.17 de	7.15 n	0.093 e-g	576 m	2.4 mn	0.009 j-l	35.7 e-g	26.53 b-f	32.36 c-e
$B_1I_{100}F_M$	40.16 d-f	57.19 a	13.11 cd	6.6 n	0.107 cd	615 m	2.41 l-n	0.01 j-l	34.46 fg	28.43 a-e	33.76 b-e
$B_1I_{100}F_T$	35 f-i	51.32 a-c	10.21 f	12.5 h-j	0.107 cd	1171 j-l	2.46 e-h	0.009 j-l	37.55 d-g	31 a-c	38.4 b-d
$B_1I_{50}F_0$	49.68 b	32.15 h-j	1.24 op	18.03 bc	0.087 kl	2691 c	2.47 d-g	0.032 a-c	38.2 c-g	25.9 b-f	33.2 b-e
$B_1I_{50}F_M$	24.98 mn	34.68 g-i	2.27 m-p	15.5 d-f	0.127 a	1217 j-l	2.53 b	0.025 b-g	39.86 c-f	30.36 a-c	41.06 bc
$B_1I_{50}F_T$	29.4 j-m	34.74 g-i	3.27 k-n	19.3 b	0.117 f-i	2211 d	2.42 k-m	0.022 b-h	34.5 e-g	25.3 c-f	31.46 c-f
$B_1I_{75}F_0$	42.02 c-e	49.55 bc	7.65 h	7.35 n	0.083 g-j	876 lm	2.41 k-n	0.015 e-l	37.85 c-g	33.15 a	41.95 bc
$B_1I_{75}F_M$	31.41 i-l	45.33 c-e	5.51 ij	11.75 j-m	0.09 e-h	1299 h-k	2.43 h-k	0.013 f-l	39.83 c-f	27.16 b-f	37.32 b-e
$B_1I_{75}F_T$	29.3 j-m	47.33 c-e	8.39 gh	16.5 cd	0.1 c-e	1652 fg	2.39 n	0.007 kl	41.53 b-e	28.5 a-e	38.93 b-d
$B_2I_{100}F_0$	42.25 c-e	54.52 ab	16.08 b	9.9 lm	0.091 e-g	1083 j-l	2.43 i-k	0.014 f-l	36.03 e-g	27.2 b-f	33.5 b-e
$B_2I_{100}F_M$	24.49 mn	42.37 d-f	17.58 a	15.9 de	0.103 cd	1529 g-i	2.41 k-n	0.019 d-i	33.6 fg	26.6 b-f	31.6 c-f
$B_2I_{100}F_T$	20.38 n	48.06 b-d	16.82 ab	12.33 h-k	0.08 h-j	1554 f-j	2.42 j-m	0.011 i-l	33.56 fg	23.63 ef	28.06 d-f
$B_2I_{50}F_0$	37.49 f-i	37.45 f-h	2.85 l-n	17.83 bc	0.08 h-j	2218 d	2.52 b	0.029 b-d	34.75 e-g	16.8 g	21.3 f
$B_2I_{50}F_M$	42.68 cd	26.34 j	0.94 p	10.7 j-m	0.077 i-k	1392 g-j	2.4 mn	0.036 ab	46.95 b	22.4 f	37.45 b-e
$B_2I_{50}F_T$	27.63 lm	36.89 f-h	3.28 k-n	10.73 j-m	0.11 bc	982 kl	2.5 c	0.036 ab	39.36 c-g	29.7 a-d	39.53 bc
$B_2I_{75}F_0$	33.4 h-k	36.77 f-h	4.39 jk	9.73 m	0.087 f-i	1123 j-l	2.48 c-e	0.041 a	37.65 d-g	24.35 d-f	31.5 c-f
$B_2I_{75}F_M$	43.38 cd	31.63 h-j	9.67 pg	10.75 j-m	0.098 de	1095 j-l	2.39 n	0.018 d-k	32.43 g	22.2 f	26.9 ef
$B_2I_{75}F_T$	56.73 a	48.15 b-d	11.59 e	14.6 e-g	0.078 ij	1869 fe	2.45 f-i	0.024 c-i	40.133 c-f	25.4 c-f	34.63 b-e

حروف غیریکسان نشان دهنده تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد با استفاده از آزمون چندامنه‌ای دانکن می‌باشد. در جدول B0، B1 و B2 به ترتیب نشان دهنده بدون جایگذاری کیسه، جایگذاری یک کیسه و جایگذاری دو کیسه. I50، I75 و I100 به ترتیب نشان دهنده آبیاری ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی و F0، FM و FT به ترتیب نشان دهنده بدون تلقیح قارچ، تلقیح با قارچ مایکوریزا و تلقیح با قارچ تریکودرما می‌باشد.

Dissimilar letters show significant differences at 1 and 5% of probability level based on Duncan's multiple range test. In Table, B0, B1, and B2 represent no bag placement, one bag placement, and two bag placements, respectively; I50, I75, and I100 respectively represent 50, 75, and 100% irrigation and F0, FM, and FT represent without inoculation, inoculation with mycorrhizal fungi, and inoculation with Trichoderma fungi.



شکل ۳- a) اثر متقابل جایگذاری کیسه × تلقیح قارچ بر *b، b) اثر متقابل سطوح آبیاری × تلقیح قارچ بر *b، c) اثر متقابل جایگذاری کیسه × سطوح آبیاری بر *b، d) اثر متقابل جایگذاری کیسه × تلقیح قارچ بر H، e) اثر متقابل سطوح آبیاری × تلقیح قارچ بر H و f) اثر متقابل جایگذاری کیسه × سطوح آبیاری بر H در میوه هلو رقم 'Red Top'

Figure 3- a) The interaction effect of bag placement ×fungi inoculation on b*, b) the interaction effect of irrigation levels ×fungi inoculation on b*, c) The interaction effect of bag placement ×irrigation levels on b*, d) The interaction effect of bag placement ×fungi inoculation on H, e) The interaction effect of irrigation levels ×fungi inoculation on H, and f) The interaction effect of bag placement ×irrigation levels on H of peach fruit cv. 'Red Top'(DMRT, $p≤0.05$)

جدول ۵- همبستگی صفات کیفی اندازه‌گیری شده در هلو رقم 'Red Top'

Table 5- Correlation between measured qualitative traits in peach cv. 'Red Top'

	L^*	a^*	b^*	Chroma	Hue	Phenol	Anthocyanins
L^*	1						
a^*	0.174	1					
b^*	0.932**	0.409**	1				
Chroma	0.788**	0.7**	0.936**	1			
Hue	0.948**	0.104	0.906**	0.704**	1		
Phenol	0.419**	-0.037	0.38**	0.267*	0.463**	1	
Anthocyanins	-0.224*	0.276*	0.194	0.038	0.356**	0.501**	1

** و * : به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد

** and *: Significant at 1% and 5% of the probability levels, respectively.

منابع

1. Abdelrahman, M., Burritt, D.J., & Tran L.S.P. (2018). *The use of metabolomic quantitative trait locus mapping and osmotic adjustment traits for the improvement of crop yields under environmental stresses*. In Seminars in cell & developmental biology (Vol. 83, pp. 86-94). Academic Press. https://doi.org/10.1016/j.semcdb.2017.06.020.
2. Alcobendas, R., Mirás-Avalos, J.M., Alarcón, J.J., Pedrero F., & Nicolás, E. (2012). Combined effects of irrigation, crop load and fruit position on size, color and firmness of fruits in an extra-early cultivar of peach. *Scientia Horticulturae* 142: 128-135. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2012.05.003.
3. Ambigaipalan, P., De Camargo, A.C., & Shahidi, F. (2016). Phenolic compounds of pomegranate byproducts (outer skin, mesocarp, divider membrane) and their antioxidant activities. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 64: 6584-6604. https://doi.org/10.1021/acs.jafc.6b02950.
4. Augé, R.M. (2001). Water relations, drought and vesicular-arbuscular *mycorrhizal* symbiosis. *Mycorrhiza 11*(1): 3-42. https://doi.org/10.1007/s005720100097.
5. Bompadre, M.J., Bidondo, L.F., Silvani, V.A., Colombo, R.P., Pérgola, M., Pardo, A.G., & Godeas, A.M. (2015). Combined effects of arbuscular mycorrhizal fungi and exogenous cytokinins on pomegranate (*Punica granatum*) under two contrasting water availability conditions. *Symbiosis 65*(2): 55-63. https://doi.org/10.1007/s13199-015-0318-2.
6. Brunner, I., Herzog. C., Dawes, M.A., Arend, M., & Sperisen, C. (2015). How tree roots respond to drought. *Frontiers in Plant Science* 6: 547. https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00547.
7. Chatzitheodorou, I.T., Sotiropoulos, T.E., & Mouhtaridou, G.I. (2004). Effect of nitrogen, phosphorus, potassium fertilization and manure on fruit yield and fruit quality of the peach cultivars 'Spring Time'and 'Red Haven'. *Agronomy Research 2*(2): 135-143.
8. Conejero, W., Alarcon, J.J., Garcia-Orellana, Y., Abrisqueta, J.M., & Torrecillas, A. (2007). Daily sap flow and maximum daily trunk shrinkage measurements for diagnosing water stress in early maturing peach trees during the post-harvest period. *Tree Physiology* 27: 81-88. https://doi.org/10.1093/treephys/27.1.81.
9. Eldem, V., Akcay, U.C., Ozhuner, E., Bakır, Y., Uranbey, S., & Unver, T. (2012). Genome-wide identification of miRNAs responsive to drought in peach *(Prunus persica*) by high-throughput deep sequencing. *PloS One 7*(12): e50298. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0050298.
10. Elhady, A., Hallmann, J., & Heuer, H. (2020). Symbiosis of soybean with nitrogen fixing bacteria affected by root lesion nematodes in a density-dependent manner. *Scientific Reports 10*(1): 1-12. https://doi.org/10.1038/s41598-020-58546-x.
11. Estaji, A., Roosta, H. R., & Raghami, M. (2017). Comparison of vegetative traits and root yield of licorice (*Glycyrrhiza glabra*) influenced by different sources of nitrogen in several soilless and soil culture systems. *Journal of Soil and Plant Interactions-Isfahan University of Technology 8*(2) :105-117. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.18869/acadpub.ejgcst.8.2.105.
12. Gelly, M., Recasens, I., Girona, J., Mata, M., Arbones, A., Rufat, J., & Marsal, J. (2004). Effects of stage II and postharvest deficit irrigation on peach quality during maturation and after cold storage. *Journal of the Science of Food and Agriculture 84*(6): 561-568. https://doi.org/10.1002/jsfa.1686.
13. Ghafari, H., Hassanpour, H., Jafari, M., & Besharat, S. (2020). Effect of partial root zone irrigation on physiology, water use efficiency, fruit yield, phenolic compounds and antioxidant capacity of apple. *Archives of Agronomy and Soil Science* 1-18. https://doi.org/10.1080/03650340.2020.1799984.
14. Gizas, G., & Savvas, D. (2007). Particle size and hydraulic properties of pumice affect growth and yield of greenhouse crops in soilless culture. *HortScience 42*(5): 1274-1280. https://doi.org/10.21273/HORTSCI.42.5.1274.
15. Gravel, V., Antoun, H., & Tweddell, R.J. (2007). Growth stimulation and fruit yield improvement of greenhouse tomato plants by inoculation with *Pseudomonas putida* or *Trichoderma atroviride*: possible role of indole acetic acid (IAA). *Soil Biology and Biochemistry 39*(8): 1968-1977. https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2007.02.015.
16. Habib, R., Pagès, L., Jordan, M. O., Simonneau, T., & Sebillotte, M. (1991). Approche à l'échelle du système racinaire de l'absorption hydro-minérale. Conséquences en matière de modélisation. *Agronomie 11*(8): 623-643.
17. Hirayama, M., Wada, Y., & Nemoto, H. (2006). Estimation of drought tolerance based on leaf temperature in upland rice breeding. *Breeding Science 56*(1): 47-54. https://doi.org/10.1270/jsbbs.56.47.
18. Huang, S., Yamaji, N., Sakurai, G., Mitani- Ueno, N., Konishi, N., & Ma, J.F. (2022). A pericycle- localized silicon transporter for efficient xylem loading in rice. *New Phytologist 234*(1): 197-208. https://doi.org/10.1111/nph.17959.
19. Kafi, M., Borzoi, A., Salehi, M., Kamandi, A., Masoumi, A., & Nabatei, J. (2010). *Environmental stress physiology of plants*. Press Jahad Daneshgahi, PP: 35-40. (In Persian)
20. Karami, F., Talaie, A.R., Lesani, H., & Rasoolzade, S. (2002). Effect of water stress on quantitative and qualitative characteristics of peach fruit. *Iranian Journal of Agriculture Science* 33: 749-754. (In Persian with English

abstract)

21. Kataoka, I., & Beppu, K. (2004). UV irradiance increases development of red skin color and anthocyanins in Hakuho' Peach. *Hort Science 39*(6): 1234-1237. https://doi.org/10.21273/HORTSCI.39.6.1234.
22. Katerova, Z., & Prinsen, E. (2008). Alterations in indoleacetic acid, abscisic acid and amino cyclopropane carboxylic acid in pea plants after prolonged influence of low levels ultraviolet-B and ultraviolet-C radiations. *General and Applied Plant Physiology–Special* 34: 377-388.
23. Khoo, H.E., Azlan, A., Tang, S.T., & Lim, S.M. (2017). Anthocyanidins and anthocyanins: colored pigments as food, pharmaceutical ingredients, and the potential health benefits. *Food & Nutrition Research 61*(1): 1361779. https://doi.org/10.1080/16546628.2017.1361779.
24. Levitt, J. (1980). *Responses of plants to environmental stress*, Vol.2, Academic Press, New York.
25. Lopez, G., Behboudian, M.H., Vallverdu, X., Mata, M., Girona, J., & Marsal, J. (2010). Mitigation of severe water stress by fruit thinning in '*O'Henry*'peach: implications for fruit quality. *Scientia Horticulturae 125*(3): 294-300. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2010.04.003.
26. Mahdavi, S.Z. (2017)**.** *Effects of Silica and drought stress on morphological and biochemical characteristics of two strawberry cultivars under soilless condition*. M.Sc. Thesis. University of Kurdistan Faculty of Agriculture Department of Horticultural Science, Iran. (In Persian with English abstract)
27. Mazumdar, B.C., & Majumder, K. (2017). *Methods on Physico-chemical analysis of fruits*. Daya Publishing House.
28. Michelakis, N. (1995). Effect of water availability on the growth and yield of olive trees. *Olivae* 56: 29-39.
29. Mills, T.M., Behboudian, M.H., & Clotheir, B.E. (1996). Water relations, growth and composition of 'Braeburn' apple fruit under deficit irrigation. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 121: 286-291. https://doi.org/10.21273/JASHS.121.2.286.
30. Nazeri, M., Tabatabaei, S.J., & Sharafi, Y. (2020a). Effect of bag placement, fungal Inoculation of roots, and different levels of irrigation on growth and pomological characteristics of peach in split root culture. *Iranian Journal of Horticultural Science and Technology 21*(4) :461-468. (In Persian with English abstract)
31. Nazeri, M., Tabatabaei, S.J., & Sharafi, Y. (2020b). Evaluation of split root system followed by semi-hydroponic conditions and fungi in peach trees to improve water uptake efficiency in low yield lands. *Research in Pomology 5*(1): 29-43. (In Persian with English abstract)
32. Pascale, A., Vinale, F., Manganiello, G., Nigro, M., Lanzuise, S., Ruocco, M., & Lorito, M. (2017). Trichoderma and its secondary metabolites improve yield and quality of grapes. *Crop Protection* 92: 176-181. https://doi.org/10.1016/j.cropro.2016.11.010.
33. Pashaei, M., Tabatabaei, S.J., & Sharafi, Y. (2018). Effect of sources and application method of phosphorus fertilizers on efficiency of phosphorus uptake and some growth and physiological characteristics of peach "*Prunus persica* var. Platycarpa". *Horticultural Plants Nutrition 1*(2): 15-24. (In Persian with English abstract)
34. Rababah, T.M., Ereifej, K.I., & Howard, L. (2005). Effect of ascorbic acid and dehydration on concentrations of total phenolics, antioxidant capacity, anthocyanins, and color in fruits. *Journal of Agricultural and Food Chemistry 53*(11): 4444-4447. https://doi.org/10.1021/jf0502810.
35. Raviv, M., Wallach, R., Silber, A., & Bar-Tal, A. (2002). Substrates and their analysis, p. 25–101. In: Savvas, D. and H.C. Passam (eds.). *Hydroponic production of vegetables and ornamentals*. Embryo Publications, Athens, Greece.
36. Rubio, M.B., de Medeiros, H.A., Morán-Diez, M.E., Castillo, P., Hermosa, R., & Monte, E. (2019). *A split-root method to study systemic and heritable traits induced by Trichoderma in tomato plants*. In Methods in Rhizosphere Biology Research (pp. 151-166). Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-13-5767-1_9.
37. Slinkard, K., & Singleton, V.L. (1977). Total phenol analysis: automation and comparison with manual methods. *American Journal of Enology and Viticulture 28*(1): 49-55.
38. Sohrabi, Y., Heidari, G., Weisany, W., Ghasemi Golezani, K., & Mohammadi, K. (2012). Some physiological responses of chickpea (*Cicer aritinum* L.) cultivars to *Arbuscular mycorrhiza* under drought stress. *Russian Journal of Plant Physiology 59*(6): 708–716. https://doi.org/10.1134/S1021443712060143.
39. Su, M., Zhang, B., Ye, Z., Chen, K., Guo, J., Gu, X., & Shen, J. (2013). Pulp volatiles measured by an electronic nose are related to harvest season, TSS concentration and TSS/TA ratio among 39 peaches and nectarines. *Scientia Horticulturae* 150: 146-153. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2012.10.020
40. Tabatabaei, S.J., Gregory, P.J., Hadley, P., & Ho, L. (2004). Use of unequal salinity in the root zone to improve yield and quality in hydroponically grown tomato. *Acta Horticulturae* 648: 47-54.
41. Tan, Y., Li, M., Yang, Y., Sun, X., Wang, N., Liang, B., & Ma, F. (2017). Overexpression of MpCYS4, a phytocystatin gene from *Malus prunifolia* (*Willd*.) Borkh., enhances stomatal closure to confer drought tolerance in transgenic Arabidopsis and apple. *Frontiers in Plant Science* 8: 33. https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00033.
42. Thilakarathna, M.S., & Cope, K.R. (2021). Split-root assays for studying legume–rhizobia symbioses, rhizodeposition, and belowground nitrogen transfer in legumes. *Journal of Experimental Botany 72*(15): 5285-5299. https://doi.org/10.1093/jxb/erab198.

43. Wu, Q.S., Srivastava, A.K., & Cao, M.Q. (2016). Systematicness of glomalin in roots and mycorrhizosphere of a split-root trifoliate orange. *Plant, Soil and Environment 62*(11): 508-514. https://doi.org/10.17221/551/2016-PSE.
44. Xu, F., Tan, X., Zhang, W.Q., & Zwiazek, J.J. (2019). Effects of iron and root zone pH on growth and physiological responses of paper birch (*Betula papyrifera*), trembling aspen (*Populus tremuloides*) and red-osier dogwood (*Cornus stolonifera*) seedlings in a split-root hydroponic system. *Acta Physiologiae Plantarum 41*(8): 142. https://doi.org/10.1007/s11738-019-2933-7.
45. Zhang, C., Feng, R., Ma, R., Shen, Z., Cai, Z., Song, Z., Peng, B., & Yu, M. (2018). Genome-wide analysis of basic helix-loop-helix superfamily members in peach. *PloS One 13*(4): p.e0195974. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0195974.
46. Zhang, K.M., Yu, H.J., Shi, K., Zhou, Y.H., Yu, J.Q., & Xia, X.J. (2010). Photoprotective roles of anthocyanins in *Begonia semperflorens*. *Plant Science 179*(3): 202-208. https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2010.05.006.
47. Zhou, H., Niu, X., Yan, H., Zhao, N., Zhang, F., Wu, L., Yin, D., & Kjelgren, R. (2019). Interactive effects of water and fertilizer on yield, soil water and nitrate dynamics of young apple tree in semiarid region of northwest China. *Agronomy 9*(7): 360. https://doi.org/10.3390/agronomy9070360.